



Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl/milieu

T 030 256 42 56

F 030 256 42 75

TNO-rapport

TNO-034-UT-2009-01507_RPT-ML

**Update windtunnelonderzoek naar de NO₂- en
PM₁₀-concentraties bij de noordelijke tunnelmond
van de A2 Leidsche Rijn tunnel bij Utrecht**

Datum	mei 2009
Auteur(s)	W.W.R. Koch J.H. Weststrate
Projectnummer	034.21424
Trefwoorden	- windtunnel - tunnel - wegverkeer - lokale luchtkwaliteit
Opdrachtgever	Gemeente Utrecht Projectbureau Leidsche Rijn Postbus 8613 3503 RP Utrecht t.a.v. de heer P. van der Meer
Aantal pagina's	42 (incl. bijlagen)
Bijlagen	5

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vernenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In 2008 en 2009 heeft TNO een windtunnelonderzoek uitgevoerd naar de luchtkwaliteit bij de tunnelmonden van de A2 Leidsche Rijn tunnel in 2011 en 2015. In het betreffende onderzoek is gebruik gemaakt van de emissiefactoren en achtergrondconcentraties volgens het BGE-scenario van april 2008 zoals opgesteld door het MNP (MNP 2008). Met ingang van april 2009 is er door het MNP een nieuwe set emissiefactoren en achtergrondconcentraties bepaald volgens het BGE-scenario van april 2009 (MNP 2009).

In opdracht van het projectbureau Leidsche Rijn van de gemeente Utrecht heeft TNO B&O in Apeldoorn aanvullend onderzoek gedaan naar de jaargemiddelde NO₂- en PM₁₀-concentraties in 2015 en 2020, ter hoogte van de noordelijke tunnelmond van de A2 Leidsche Rijn tunnel op basis van de meest recente emissiefactoren en achtergrondconcentraties volgens het BGE-scenario van april 2009. Tevens is in het kader van dit aanvullende onderzoek gebruik gemaakt van nieuwe door de opdrachtgever aangeleverde verkeersgegevens voor 2015 en 2020.

De aanvullende berekeningen zijn uitgevoerd voor de basisconfiguraties (configuratie 1 en 2) en de verschillende schermvarianten (configuratie 3 tot en met 7) zoals die ook in het voorgaande windtunnelonderzoek zijn onderzocht.

Jaargemiddelde NO₂-concentraties

Uit de berekeningen blijkt dat de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties op de tunnelmond (meetpunten 1 t/m 7) in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en in 2020 niet wordt overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties wordt aan de westzijde van de A2 in geen van de beschouwde varianten (basisconfiguraties en de schermvarianten) in 2015 of in 2020 overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties wordt aan de oostkant van de A2 in de basisconfiguratie 1 ter hoogte van de meetpunten 8, 9, 11, 12, 15 en 16 in 2015 overschreden. De hoogste concentratie is gemeten ter hoogte van meetpunt 11 met een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 52,1 µg/m³. In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in de basisconfiguraties niet meer overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties wordt aan de oostkant van de A2 in basisconfiguratie 2 ter hoogte van de meetpunten 8, 9, 11, 12 en 15 in 2015 overschreden. De hoogste concentratie is gemeten ter hoogte van meetpunt 11 met een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 49,3 µg/m³. In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in basisconfiguratie 2 niet meer overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 wordt in configuratie 3 ter hoogte van meetpunt 11 in 2015 overschreden en bedraagt 40,8 µg/m³. In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in configuratie 3 niet meer overschreden.

In geen van de overige beschouwde configuraties (configuratie 4 tot en met 7) wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in 2015 of in 2020 overschreden.

Uurgemiddelde NO₂-concentraties

De indicatorwaarde voor uurgemiddelde NO₂-concentraties (200 µg/m³ uurgemiddelde concentratie, die niet meer dan 18 maal per jaar mag worden overschreden) wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en in 2020 niet overschreden.

Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties

De voor zeezout gecorrigeerde grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en 2020 niet overschreden.

Etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties

De voor zeezout gecorrigeerde indicatorwaarde voor etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en in 2020 niet overschreden.

Notaties

C	concentratie
E	emissie
f	frequentie van voorkomen
K	concentratiecoëfficiënt
L	lengtemaat
N	aantal passerende auto's
Q	bronsterkte
s	schaalfactor
U	windsnelheid
U10	windsnelheid op 10 meter hoogte in meteostation Schiphol
z_0	ruwheidslengte

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Notaties	4
1 Inleiding	6
2 Methode	7
2.1 Windtunnelmetingen.....	7
2.1.1 Model.....	7
2.1.2 Windtunnel	8
2.1.3 Ligging receptorpunten.....	8
2.1.4 Uitvoering	10
2.1.5 Omvang.....	12
2.1.6 Uitwerking	12
2.2 Verwerking van de windtunnelresultaten	13
2.2.1 Opzet.....	13
2.2.2 Meteo	13
2.2.3 Emissieberekeningen	14
2.2.4 Bijdrage van aanliggende wegsegmenten.....	15
2.2.5 Omzetting van NO _x in NO ₂ en jaargemiddelde concentratie per receptorpunt.....	15
2.2.6 Achtergrondconcentratieniveaus.....	15
2.2.7 Onzekerheden in invoergegevens	16
3 Grenswaarden voor luchtkwaliteit	17
4 Resultaten voor NO₂- en PM₁₀-concentraties in de basisconfiguratie 1	19
5 Resultaten voor NO₂- en PM₁₀-concentraties bij de verschillende schermvarianten	22
6 Onzekerheid in de resultaten	26
6.1 Onzekerheden in de toegepaste methode.....	26
6.1.1 Windtunnelmetingen.....	26
6.1.2 Opschaling	26
6.1.3 Omrekening van NO in NO ₂	27
6.1.4 Schatting van de onzekerheid	27
7 Conclusies	28
8 Referenties	29
9 Verantwoording	30
Bijlagen:	
1 Aangeleverde verkeersintensiteiten.	
2 RWS schermvarianten voor de Tunnelmond Noord.	
3 Windtunnelconfiguraties.	
4 Resultaten Tunnelmond Noord basisconfiguratie 1.	
5 Resultaten Tunnelmond Noord met schermvarianten.	

1 Inleiding

In aanvulling op het windtunnelonderzoek van 2008/2009 naar de jaargemiddelde NO₂- en PM₁₀-concentraties ter hoogte van de tunnelmonden van de A2 Leidsche Rijn tunnel in 2011 en 2015 heeft TNO B&O in Apeldoorn, in opdracht van het projectbureau Leidsche Rijn van de gemeente Utrecht, aanvullend onderzoek gedaan naar de jaargemiddelde NO₂- en PM₁₀-concentraties ter hoogte van de noordelijke tunnelmond van de A2 Leidsche Rijn tunnel.

In het kader van dit aanvullende onderzoek is gebruik gemaakt van de meest recente inzichten op het gebied van emissiefactoren en achtergrond concentraties volgens het BGE-scenario van april 2009 (MNP 2009). Tevens is in het kader van dit aanvullende onderzoek gebruik gemaakt van nieuwe door de opdrachtgever aangeleverde verkeersgegevens voor 2015 en 2020.

De concentraties ter hoogte van de noordelijke tunnelmond zijn berekend op basis van de nieuw aangeleverde verkeersgegevens, de nieuwe emissiefactoren en achtergrondconcentraties volgens het BGE-scenario van april en 2009 en de in het voorgaande windtunnelonderzoek bepaalde concentratiecoëfficiënten.

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek beschreven. De onderzoeksmethode wordt geschetst in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden de toetsingscriteria gegeven. De resultaten van de windtunnelmetingen worden beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt een analyse gegeven van de onzekerheid in de resultaten. Het rapport wordt besloten met conclusies (hoofdstuk 6).

2 Methode

De door TNO gebruikte methode voor het berekenen van de concentraties op basis van windtunnelonderzoek aan de A2 Leidsche Rijn tunnel is gelijk aan de methode waarmee het voorgaande onderzoek is uitgevoerd (Visser, Weststrate, 2009). Het onderzoek is uitgevoerd in twee stappen:

1. Windtunnelmetingen: in de windtunnel zijn in 2008/2009 met behulp van een schaalmodel de concentraties van een tracergas per receptorpunt in de omgeving van de noordelijke tunnelmond gemeten. Uit de gemeten concentraties zijn concentratiecoëfficiënten afgeleid. Deze concentratiecoëfficiënten zijn ook weer gebruikt bij de onderhavige update van de berekeningen.
2. Berekening NO_2 - en PM_{10} -concentraties: op basis van de concentratiecoëfficiënten, de emissies van het wegverkeer. De meteo-omstandigheden en de achterconcentraties zijn per receptorpunt de concentraties berekend.

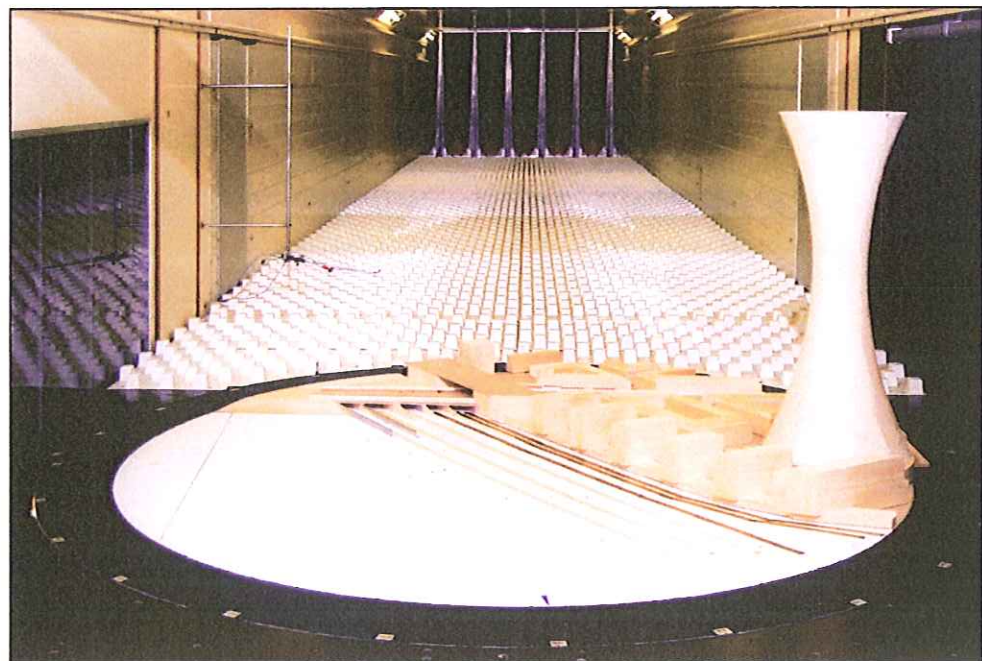
In dit hoofdstuk worden beide stappen toegelicht.

2.1 Windtunnelmetingen

2.1.1 Model

Op basis van door Rijkswaterstaat Utrecht aangeleverde informatie over de tunnelmond en door de Gemeente Utrecht toegeleverde informatie over de Leidsche Rijn bebouwing ten westen van de A2 is een windtunnelmodel gemaakt van de noordelijke tunnelmond op schaal 1:250.

Het model van de tunnelmond Noord bestaat uit twee hoofdrijbanen en twee parallelrijbanen, inclusief nog een tunnelmond van de Stadsweg.



Figuur 2.1 Het model Tunnelmond Noord in de windtunnel van TNO Apeldoorn (schaal 1:250).

2.1.2 *Windtunnel*

Het onderzoek is uitgevoerd in de atmosferische grenslaagwindtunnel van TNO B&O te Apeldoorn. De doorsnede van deze windtunnel is $2 \times 3 \text{ m}^2$. De diameter van de draai-schijf is 2,3 meter. Om uit modelonderzoek naar de werkelijkheid overdraagbare resultaten te krijgen dienen:

1. de betreffende tunnelmonden en schermen geometrisch juist geschaald te worden,
2. de omringende bebouwing schematisch mee gemodelleerd te worden
3. de eigenschappen van de aankomende wind op schaal gemodelleerd te worden.

In het onderhavige geval is gebruik gemaakt van een model op schaal 1:250 van de betreffende tunnelmond, waarbij tevens de bebouwing binnen een straal van circa 300 m schematisch is weergegeven. Voor een goede simulatie dienen de eigenschappen van de wind die op het model afkomt op schaal gemodelleerd te worden. Deze worden bepaald door de ruwheid van het gebied waar de wind overheen stroomt.

Bij Tunnelmond Noord vindt bij wind tussen 345° (noordwest) en 90° (zuidoost) de aanstroming plaats via weiland en bij wind tussen 105° en 300° via een stedelijke bebouwing. De overheersende zuidwestelijke wind komt dus aan via de stedelijke bebouwing. De eigenschappen van de aankomende wind zijn daarom gesimuleerd door een voorland toe te passen bestaande uit blokken (ruwheidslengte $z_0=0,8 \text{ m}$). Deze ruwheidslengte doet het meeste recht aan de gewogen ruwheid over de windroos. De windrichting is bij het onderzoek gevarieerd door het model om zijn as te draaien. De details van de windtunnel van TNO, alsmede de eigenschappen van de hierin gesimuleerde grenslaagstroming, worden uitgebreid beschreven in het profielenboek van de windtunnel.

2.1.3 *Ligging receptorpunten*

Er is uitgegaan van de meet (receptor)punten die ook bij het voorgaande onderzoek (Visser, Weststrate, 2009) gebruikt zijn. De ligging van de receptorpunten is toen bepaald in overleg met de opdrachtgever en de gemeente Utrecht.

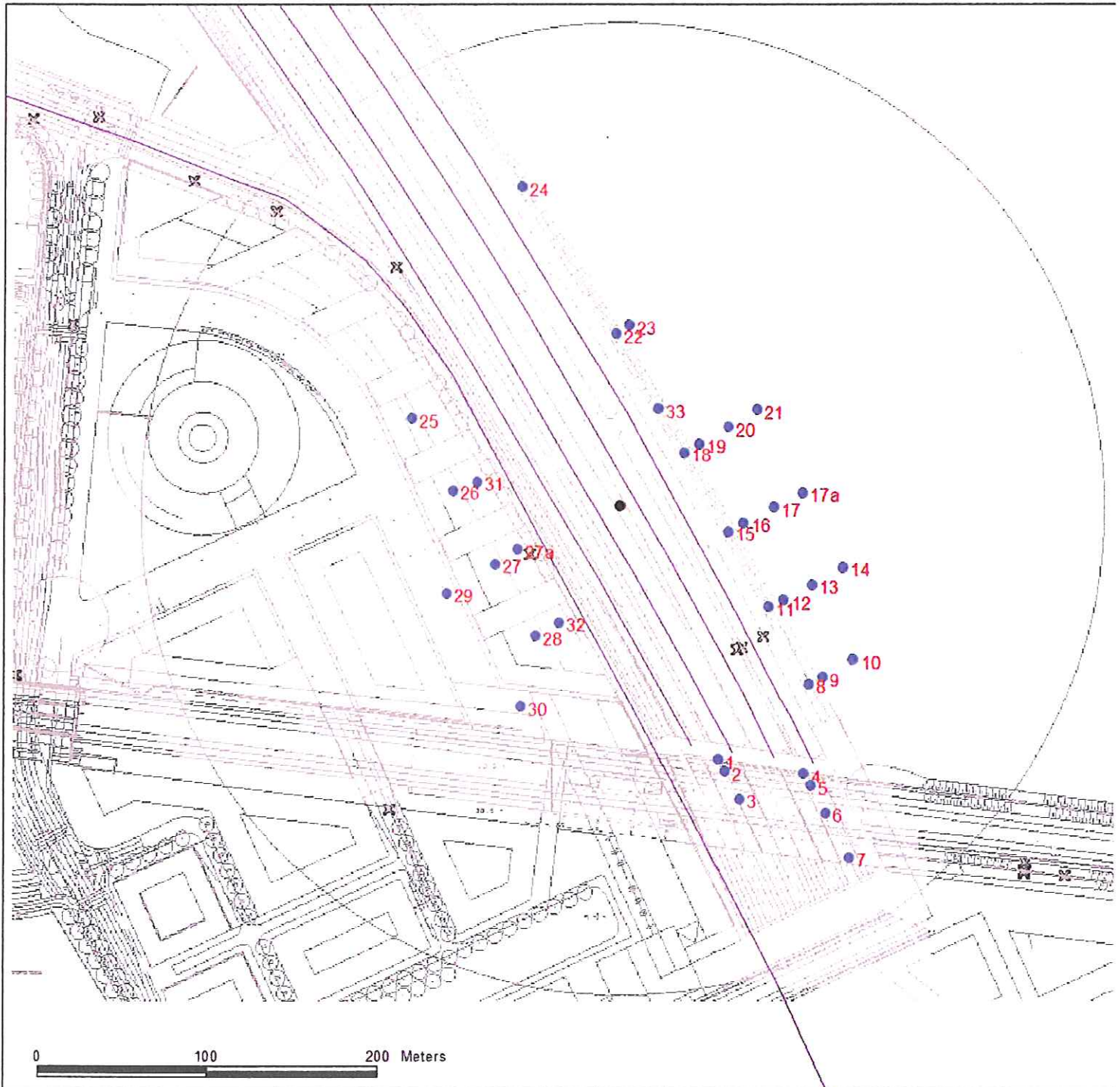
Bij Tunnelmond Noord zijn de concentraties gemeten op 6 meetlijnen: 2 meetlijnen boven de tunnelmond (op 10, 17 en 35 m resp. 10, 17, 35 en 65 m van de tunnelmond) en 4 meetlijnen aan de oostkant van de A2 (op 10, 20, 40 m, waarvan bij 2 meetlijnen ook nog op 60 m van de wegrand): op 20 m van de tunnelmond, op 70 m van de tunnelmond, op 120 m van de tunnelmond en op 170 m van de tunnelmond. Daarnaast zijn er nog meetpunten geplaatst op 250 m (10 en 20 m van de wegrand) en 350 m van de tunnelmond (op 10 m van de wegrand).

Aan de westkant konden geen meetlijnen geplaatst worden vanwege de aanwezigheid van de bebouwing van Leidsche Rijn Centrum. Er moest daar volstaan worden met het plaatsen van individuele meetpunten op het dak van de parkeergarage, op 10 m van de dakrand (meetpunten 31 en 32), meetpunten in de hoven van de bebouwing (25 t/m 28) en meetpunten in een straat van Leidsche Rijn Centrum (29 en 30).

Het onderzoek aan de tunnelmond noord is uitgevoerd voor een aantal configuraties, zie voor een verdere toelichting op deze configuraties paragraaf 2.1.5. De basisconfiguratie is uitgevoerd voor de meetpunten 1 t/m 32 zoals gegeven in figuur 2.2. Na de eerste metingen op de 32 meetpunten van de basisconfiguratie in de windtunnel zijn alle volgende metingen beperkt tot die meetpunten waar overschrijding van grenswaarden plaatsvond en zijn er op verzoek van de opdrachtgever (Rijkswaterstaat Utrecht) van het

oorspronkelijke onderzoek [Visser G.Th.; Weststrate J.H, maart 2009] drie extra meetpunten bijgeplaatst (17A, 27A en 33), zie eveneens figuur 2.2. De concentraties ter hoogte van deze aanvullende meetpunten zijn dus in alle configuraties bepaald met uitzondering van de basisconfiguratie 1.

De ligging van alle meetpunten wordt weergegeven in figuur 2.2.



Figuur 2.2 Ligging meetpunten bij de Tunnelmond Noord.

2.1.4 *Uitvoering*

In de windtunnel zijn de eigenschappen van de aankomende wind ter plaatse van de tunnelmonden op schaal gemodelleerd (paragraaf 2.1.2). Er is rekening gehouden met de door het verkeer opgewekte turbulentie. De emissies van het wegverkeer zijn gesimuleerd door middel van speciaal ontwikkelde lijnbronnen, waar lucht waaraan een tracergas is toegevoegd, wordt uitgeblazen. De concentratie van dit tracergas is in de receptor(meet)punten gemeten.

Bij de tunnelmonden is de verhouding tussen de gemiddelde door het verkeer geïndiceerde tunnelsnelheid en de jaargemiddelde windsnelheid ter plaatse van de A2-Leidsche Rijn gemodelleerd. Bij de stadstunnel, een tunnelbuis met twee richtingsverkeer, zal de door het verkeer geïnduceerde tunnelsnelheid minimaal zijn. Er is hier daarom uitgegaan van een minimale tunnelsnelheid.

Conform de beschikking van het Ministerie van VROM van 19 juli 2007 is de TNO Windtunnelmethode als bepalingsmethode voor luchtkwaliteit goedgekeurd voor gebruik binnen en buiten het toepassingsgebied van de standaardrekenmethoden 1 en 2 van het Meet en Rekenvoorschrift (Staatscourant 215, 2006). De methode mag conform de beschikking alleen worden toegepast als de verspreiding van de concentraties grotendeels worden bepaald door de aanwezigheid van gebouwen en de daarmee samenhangende turbulentie. Bij de tunnelmond Noord van de A2-Leidsche Rijn is dat heel duidelijk het geval.

Bij de A2-Leidsche Rijn tunnel is de bijdrage aan de lokale luchtkwaliteit afkomstig van de tunnelmonden en van de wegen van hoofd- en parallelrijbanen en van de Stadsweg. Bij Tunnelmond Noord is ook bij de Stadstunnel sprake van een tunnelmond. Bij het onderzoek zijn daarom de volgende emissiebronnen (wegdelen) meegenomen en apart voor alle meetpunten over de windroos gemeten:

- Tunnelmond hoofdrijbaan;
- Tunnelmond parallelrijbaan;
- Hoofdrijbanen;
- Parallelrijbanen;
- Tunnelmond Stadsweg;
- Stadsweg.

Beide rij helften van hoofdrijbanen, parallelrijbanen en stadsweg zijn apart gemodelleerd.

De verkeersintensiteiten voor de A2-LR tunnelmond noord zijn aangeleverd door de gemeente Utrecht, zie bijlage 1. De door de gemeente Utrecht aangeleverde cijfers zijn op dezelfde wijze, als in het voorgaande onderzoek (Visser, Weststrate, 2009), bewerkt om tot geschikte invoergegevens te komen voor de berekeningen.

Zo zijn voor de stadsweg en de hoofd- en de parallelrijbanen de betreffende zuidelijke en noordelijke rijrichtingen opgeteld. Tevens zijn voor de tunnelmond intensiteiten, de halve intensiteiten berekend van de betreffende rijbanen (aangezien de emissies in de tunnel verdeeld worden over beide tunnelmonden).

De aldus verkregen verkeerscijfers worden voor 2015 gegeven in tabel 2.1 en voor 2020 in tabel 2.2. De verkeersintensiteiten hebben betrekking op een gemiddelde weekdag. In tabel 2.3 staan de modelleringsgegevens vermeld.

Tabel 2.1 Verkeersintensiteiten A2-Leidsche Rijn tunnelmond Noord in 2015
(aantal voertuigen per etmaal).

Omschrijving wegvak	personen voertuigen	Middelzwaar vrachtverkeer	Zwaar vrachtverkeer	Totaal*
Tunnelmond hoofdrijbaan	46.698	4.061	8.121	58.880
Tunnelmond parallelbaan	23.900	1.397	2.793	28.090
Hoofdrijbanen	93.216	7.758	15.516	116.490
Parallelrijbanen	47.728	2.544	5.088	55.360
Tunnelmond Stadsweg	6.779	286	72	7.136
Stadsweg	13.557	571	143	14.270

*) de totalen kunnen iets afwijken ten gevolge van afrondingen.

Tabel 2.2 Verkeersintensiteiten A2-Leidsche Rijn tunnelmond Noord in 2020
(aantal voertuigen per etmaal).

Omschrijving wegvak	personen voertuigen	Middelzwaar vrachtverkeer	Zwaar vrachtverkeer	Totaal*
Tunnelmond hoofdrijbaan	49.674	4.592	9.184	63.450
Tunnelmond parallelbaan	26.184	1.429	2.858	30.470
Hoofdrijbanen	99.400	8.753	17.507	125.660
Parallelrijbanen	52.280	2.630	5.260	60.170
Tunnelmond Stadsweg	10.897	459	115	11.470
Stadsweg	21.793	918	229	22.940

*) de totalen kunnen iets afwijken ten gevolge van afrondingen.

Tabel 2.3 Gemodelleerde weg- en tunnellingen (meter) A2-Leidsche Rijn tunnel in de windtunnel.

Omschrijving wegvak	Tunnellengte (m)*	Weglengte (m)**
Tunnelmond hoofdrijbaan	1656	-
Tunnelmond parallelbaan	1656	-
Hoofdrijbanen	-	416
Parallelrijbanen	-	416
Tunnelmond Stadsweg	450	-
Stadsweg	-	555

*) de tunnellingte verwijst naar de tunnellingte zoals die is meegenomen in de berekeningen van de concentraties, hierbij geldt dat de lengte van de tunnel van invloed is op de hoeveelheid wegverkeer-emissies uit de tunnel.

**) de weglengte geeft de daadwerkelijke weglengte zoals die op de maquette voor het windtunnel-onderzoek zijn gemodelleerd

Voor de hoofdrijbanen en parallelbanen is in de berekeningen uitgegaan van een maximale rijnsnelheid van 100 km/uur en voor de Stadsweg van een rijnsnelheid van 50 km/uur. In de berekeningen is geen rekening gehouden met congestie.

De metingen zijn steeds uitgevoerd voor 12 windrichtingen tussen 0° en 330° in stappen van 30°, bij één windtunnelsnelheid op een referentiehoogte van 10 cm (25 m) circa 1,5 m stroomopwaarts van de draaischijf. Deze windsnelheid is continu gemeten met behulp van een propeller anemometer. Eventuele afwijkingen in de ingestelde windtunnelsnelheid zijn hier direct mee gecorrigeerd. Bij de ingestelde windtunnelsnelheid zijn steeds de concentraties in de receptorpunten op 1,5 m hoogte gemeten.

2.1.5 Omvang

Het onderzoek aan de tunnelmond noord is uitgevoerd voor de volgende configuraties:

1. Basisconfiguratie 1 met een 6 m hoog en 100 m lang scherm tussen parallelrijbanen en hoofdrijbanen en een 6 m hoog en 100 m lang scherm ten oosten van de A2
2. Basisconfiguratie 2 met alleen een 6 m hoog 100 m lang scherm ten oosten van de A2
3. RWS variant A (9 m hoog; 200 m lang) + 3 m hoge schermen op de parkeergarage bij de meetpunten 32 en 27A
4. RWS variant B (12-15-12-9-6 m hoog; 200 m lang) + 6 m hoge schermen op de parkeergarage bij de meetpunten 32 en 27A
5. RWS variant C (15-18-15-12-9 m hoog; 200 m lang) + 9 m hoge schermen op de parkeergarage bij de meetpunten 32 en 27 A
6. RWS variant D (18-18-15-12-9 m hoog; 200 m lang) + 12 m hoge schermen op de parkeergarage tussen de meetpunten 32 en 27 A
7. RWS variant E (15-15-15-12-6 m hoog; 200 m lang) + 12-9 en 9-6 m hoge schermen op de parkeergarage tussen de meetpunten 32 en 27A.

De RWS varianten zijn gegeven door Rijkswaterstaat Utrecht. Bijlage 2 geeft een grafisch overzicht van deze varianten. De in de windtunnel beproefde configuraties worden gegeven in bijlage 3.

De metingen zijn uitgevoerd met de 6 wegdelen zoals beschreven in paragraaf 2.1.4.

2.1.6 Uitwerking

Indien de stromingen (en de verspreiding van gassen) bij het model en in de werkelijkheid gelijkvormig zijn, dan kunnen de in de windtunnel bij het model gemeten concentraties herleid worden naar de werkelijke situatie met behulp van de volgende modelregel:

$$\left(\frac{C.U.L^2}{Q} \right)_m = \left(\frac{C.U.L^2}{Q} \right)_{f.s} \quad [1]$$

hierin is:

C- concentratie

U- windsnelheid

L- karakteristieke lengtemaat

Q- bronsterkte

De indices m en f.s staan hier voor respectievelijk model en full-scale. Voor de windsnelheid is de windsnelheid op 10 m hoogte in een representatief meteostation (Schiphol) gekozen, omdat hiervoor statistische windgegevens bekend zijn. De verhouding tussen de windsnelheid op referentiehoogte in de windtunnel en de windsnelheid op 10 m hoogte in meteostation Schiphol is berekend met behulp van de door Vermeulen/Hoofman (1980) beschreven koppelmethode.

Vergelijking [1] kan ook geschreven worden als:

$$\frac{1}{s^2} \left(\frac{C \cdot U10}{Q} \right)_m = \left(\frac{C \cdot U10}{Q} \right)_{f,s} = K \quad [2]$$

hierin is:

s- de schaalfactor (L_{fs}/L_m)

C- concentratie (kg/m^3)

U10- de windsnelheid op 10 m hoogte in meteostation Schiphol (m/s)

Q- bronsterkte uitlaatgascomponent (kg/s)

K- concentratiecoëfficiënt (m^{-2})

De concentraties bij het model in de windtunnel (C) zijn gemeten bij de uit de gemeten windsnelheid in de windtunnel bepaalde U10 en bij de in het model ingestelde bronsterkte tracergas (Q). Daarnaast is uiteraard ook de schaalfactor (s) bekend. Hiermee kan voor elk receptorpunt en voor elke windrichting de concentratiecoëfficiënt bepaald worden.

De in werkelijkheid te verwachten concentraties kunnen vervolgens berekend worden met:

$$C = \frac{K \cdot Q}{U10} \quad [3]$$

Hierin is Q de bronsterkte van de beschouwde uitlaatgascomponent. Met behulp van K kan in principe voor elke gewenste windsnelheid de concentratie van de beschouwde uitlaatgascomponent berekend worden. In dit geval worden alleen de uitlaatgascomponenten NO_x en PM_{10} beschouwd.

2.2 Verwerking van de windtunnelresultaten

2.2.1 Opzet

Voor het bepalen van (meestal NO_2 - en PM_{10}) concentraties (inclusief achtergrondconcentraties) uit de in de windtunnel gemeten concentratiecoëfficiënten moeten de volgende stappen onderscheiden worden:

- het in rekening brengen van de (NO_x - en PM_{10}) voertuigemissie;
- het in rekening brengen van de windsnelheid (12 windrichtingen, sectoren);
- het in rekening brengen van de concentratiebijdragen als gevolg van emissies van aanliggende wegvakken;
- het omzetten van de NO concentratie in NO_2 (12 windrichtingen);
- het in rekening brengen van de achtergrondconcentratie.

2.2.2 Meteo

De essentie van de wegging van de (bijdrage)concentratie ten gevolge van de wegverkeeremissies over alle mogelijke windrichtingen en -snelheden wordt in onderstaande vergelijking weergegeven:

$$\Delta C = K \times E (f_{1,45}/u_{1,45} + f_4/u_4 + f_8/u_8)$$

waarin:

ΔC	de bijdrage van het wegverkeer aan de NO _x - of PM ₁₀ -concentratie in één windrichting;
K	concentratiecoëfficiënt (windtunnelonderzoek);
E	NO _x - of PM ₁₀ bronsterkte (ter onderscheiding van de Q voor de wind tunnel bronsterkte);
$f_{1,45}, f_4, f_8$	frequentie van voorkomen van de onderscheiden windsnelheidsklassen per windrichting;
$u_{1,45}, u_4$ en u_8	karakteristieke windsnelheden voor de onderscheiden windsnelheidsklassen (1.45, 4 resp. 8 m/s).

Voor de meteorologie is gebruik gemaakt van meerjarige meteo gegevens van Schiphol (1995-2004). De data set onderscheidt drie windsnelheidsklassen, met de klassenmiddens van 1,45 m/sec, 4 m/sec en 8 m/sec. Voor elk van deze klassen bevat de meteo dataset (voor twaalf windrichtingen) de frequentie van voorkomen ($f_{1,45}, f_4$ en f_8).

Op basis van bovenstaande vergelijking is de uit de windtunnelmetingen afgeleide concentratiecoëfficiënt gewogen naar de drie windsnelheidsklassen en frequentie van voorkomen van deze windsnelheidsklassen.

2.2.3 Emissieberekeningen

De grootte van de emissie van de verschillende stoffen is sterk afhankelijk van het motorvermogen, de soort brandstof, het rijgedrag en de rijnsnelheid. Voor het berekenen van de NO_x-en PM₁₀-emissie is gebruik gemaakt van de emissiefactoren volgens het BGE scenario van april 2009 (MNP, 2009) (tabel 2.4 en 2.5).

Tabel 2.4 Emissiefactoren (g/km/voertuig) voor verschillende maximale rijnsnelheden in 2015

Voertuigtype	Maximum rijnsnelheid	NO _x	NO ₂	PM ₁₀
Personenauto's	50	0,358	0,14	0,045
	100	0,178	0,076	0,027
Vrachtverkeer middelzwaar	50	3,827	0,31	0,192
	80	2,556	0,174	0,120
Vrachtverkeer zwaar	50	3,106	0,210	0,157
	80	2,304	0,155	0,099

Tabel 2.5 Emissiefactoren (g/km/voertuig) voor verschillende maximale rijsnelheden in 2020

Voertuigtype	Maximum rijsnelheid	NO _x	NO ₂	PM ₁₀
Personenauto's	50	0,231	0,094	0,037
	100	0,105	0,043	0,022
Vrachtverkeer middelzwaar	50	2,356	0,2	0,155
	80	1,689	0,117	0,101
Vrachtverkeer zwaar	50	1,981	0,132	0,139
	80	1,452	0,097	0,086

2.2.4 Bijdrage van aanliggende wegsegmenten

Voor het kwantificeren van de bijdragen van de buiten de draaischijf vallende delen van de A2-Leidsche Rijn zijn met behulp van Pluim-snelweg voor elk receptorpunt (voor 12 windrichtingen) de (NO_x- en PM₁₀) concentratiebijdragen tot 500 m buiten de draaischijf, met uitzondering van het wegdeel dat met behulp van de windtunnel is gemodelleerd, berekend. Vervolgens zijn per windrichting de concentratiebijdrage, die uit de in de windtunnel gemeten concentratie coëfficiënten is afgeleid, opgeteld bij de met Pluim-snelweg berekende NO_x- en PM₁₀-concentratiebijdrage.

De grootte van de bijdrage van de niet-windtunnelbronnen is sterk afhankelijk van de ligging van een receptorpunt. Voor een receptorpunt dat midden in het windtunnelmodel ligt zal de bijdrage van deze (aanliggende) bronnen klein zijn. Voor receptorpunten aan de rand van de draaischijf kunnen de bijdragen echter substantieel zijn.

2.2.5 Omzetting van NO_x in NO₂ en jaargemiddelde concentratie per receptorpunt

De NO_x-(bijdrage)concentratie (som van windtunnelbijdrage en bijdrage berekend met Pluim-snelweg per windrichting), wordt op basis van de NO₂-achtergrondwindroos en de ozonconcentratie per windrichting omgerekend in een NO₂-(bijdrage)-concentratie per windrichting. Eenzelfde berekening wordt ook uitgevoerd voor het direct geëmitteerde NO₂. Vervolgens wordt de (jaargemiddelde) NO₂-verkeersbijdrage op basis van de frequentie van voorkomen van een bepaalde windrichting berekend. Ten slotte worden verkeersbijdrage en achtergrondconcentratie gesommeerd (paragraaf 2.2.6).

2.2.6 Achtergrondconcentratieniveaus

Voor het berekenen van de totale concentratie moeten de bijdragen van het wegverkeer en de achtergrondconcentratie worden gecombineerd. Voor de NO₂ en PM₁₀ achtergronden is uitgegaan van het BGE scenario van april 2009 (MNP, 2009). Tabel 2.6 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 2.6 Gehanteerde jaargemiddelde achtergrondconcentraties voor het studiegebied [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Stof	2015	2020
NO ₂ (jaargemiddelde)	20,7	17,3
PM ₁₀ (jaargemiddelde)	23,5	22

2.2.7 Onzekerheden in invoergegevens

De invoergegevens van het model, zoals verkeersintensiteiten, emissiefactoren, achtergrondniveaus bevatten onzekerheden. Deze onzekerheden gelden uiteraard voor zowel de windtunnelmetingen als voor de berekeningen met Pluim-snelweg. Deze onnauwkeurigheden worden bepaald door voorspellingen over toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot verkeersgegevens (intensiteiten, samenstelling, snelheden en emissiefactoren) en achtergrondniveaus. Ze worden uit externe bron toegeleverd en zijn niet beïnvloedbaar.

3 Grenswaarden voor luchtkwaliteit

De berekende jaargemiddelde NO₂- en PM₁₀-concentraties van 2015 en 2020 zijn getoetst aan de grenswaarden die opgenomen zijn in titel 5.2 Luchtkwaliteitseisen van de Wet milieubeheer, ook wel de “Wet luchtkwaliteit” genoemd. Deze wijziging van de wet milieubeheer is op 15 november 2007 in werking getreden (zie ook staatsblad 414, 2007 en 434, 2007).

In de Wet milieubeheer wordt voor NO₂ onderscheid gemaakt tussen piekconcentraties (uurwaarden) en jaargemiddelde concentraties. Voor PM₁₀ wordt onderscheid gemaakt tussen piekconcentraties (24-uurwaarden) en jaargemiddelde concentraties.

Vanaf 2010 moet de jaargemiddelde NO₂-concentratie getoetst worden aan de grenswaarde van 40 µg/m³ en een uurgemiddelde NO₂-concentratie van 200 µg/m³ die niet meer dan 18 maal per jaar mag worden overschreden.

Aangezien voor het berekenen van uurgemiddelde NO₂-concentraties gedetailleerde uurlijkse gegevens (o.a. uurlijkse verkeers- en meteogegevens en achtergrondconcentraties op uurbasis) nodig zijn en de benodigde rekeninspanning vele malen groter is dan voor het berekenen van jaargemiddelde NO₂-concentraties op basis van de jaargemiddelde NO₂-concentraties, is gebruik gemaakt van een statistische relatie. Deze relatie legt op basis van meetdata van het RIVM een verband tussen jaargemiddelde en uurgemiddelde NO₂-concentraties. In het bijlagenrapport (Wesseling, et al., 2006) is een uitgebreide technische toelichting opgenomen. Uit de statistische analyse blijkt dat in het algemeen een overschrijding van de uurgemiddelde grenswaarde plaats vindt bij een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 81,3 µg/m³ of hoger.

Vanaf 2005 moet de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie getoetst worden aan de grenswaarde van 40 µg/m³ en een etmaalgemiddelde concentratie van 50 µg/m³, die niet meer dan 35 maal per jaar mag worden overschreden.

Volgens de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (Staatscourant 220, 2007) van 8 november 2007 mag het aandeel fijn stof van natuurlijke bronnen in de totale PM₁₀-achtergrondconcentratie in mindering worden gebracht, de “zeezout correctie”. Volgens deze meetregeling mogen de jaargemiddelde concentraties en het aantal overschrijdingen van de etmaalnorm op verschillende manieren worden gecorrigeerd. Voor de in het voorliggende rapport weergegeven PM₁₀-resultaten is voor de grenswaarde voor etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties, conform de meetregeling, getoetst aan 6 extra overschrijdingsdagen (in totaal dus 35+6=41 dagen) met een etmaalgemiddelde PM₁₀-concentratie groter dan 50 µg/m³. Dit aantal dagen is equivalent aan een toetsing van de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie van 32,5 µg/m³.

Voor de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie mag in het studiegebied een correctie van 5 µg/m³ worden toegepast. Als gevolg hiervan mogen de berekende jaargemiddelde PM₁₀-concentraties getoetst worden aan een grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties van (40 µg/m³ + 5 µg/m³) 45 µg/m³.

In tabel 3.1 staan de normen voor beide stoffen weergegeven.

Tabel 3.1 Luchtkwaliteitsnormen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in 2015 en 2020.

Type norm	NO ₂	PM ₁₀
Grenswaarde (jaargemiddelde)	40	40 (+5 zeezout)
Grenswaarde (uurgemiddelde) - indicator	81,3	n.v.t.
Grenswaarde (24-uurgemiddelde) - indicator	n.v.t.	32,4

Voor de overige stoffen waarvoor normen in de “Wet luchtkwaliteit” zijn opgenomen, zijn geen emissie- en concentratieberekeningen uitgevoerd. Voor zo ver deze stoffen voor wegverkeer relevant zijn, geldt in het algemeen dat de afstand tussen de grenswaarde en de som van achtergrondconcentratie en de bijdrage van het wegverkeer zodanig is, dat overschrijding van de grenswaarde niet waarschijnlijk is.

Grenswaarden geven een niveau van de buitenluchtkwaliteit aan dat, in het belang van de bescherming van de gezondheid van de mens en het milieu in zijn geheel, binnen een bepaalde termijn moet worden bereikt. De grenswaarden gelden, met uitzondering van duidelijk gespecificeerde locaties waaronder de werkplek en het wegoppervlak, voor het gehele grondgebied van de EU-lidstaten.

4 Resultaten voor NO₂- en PM₁₀-concentraties in de basisconfiguratie 1

De basisconfiguratie 1 bij het windtunnelonderzoek is de situatie met een 6 meter hoog en 100 meter lang scherm tussen parallelrijbanen en hoofdrijbanen en een 6 meter hoog en 100 meter lang scherm ten oosten van de A2 (paragraaf 2.1.5).

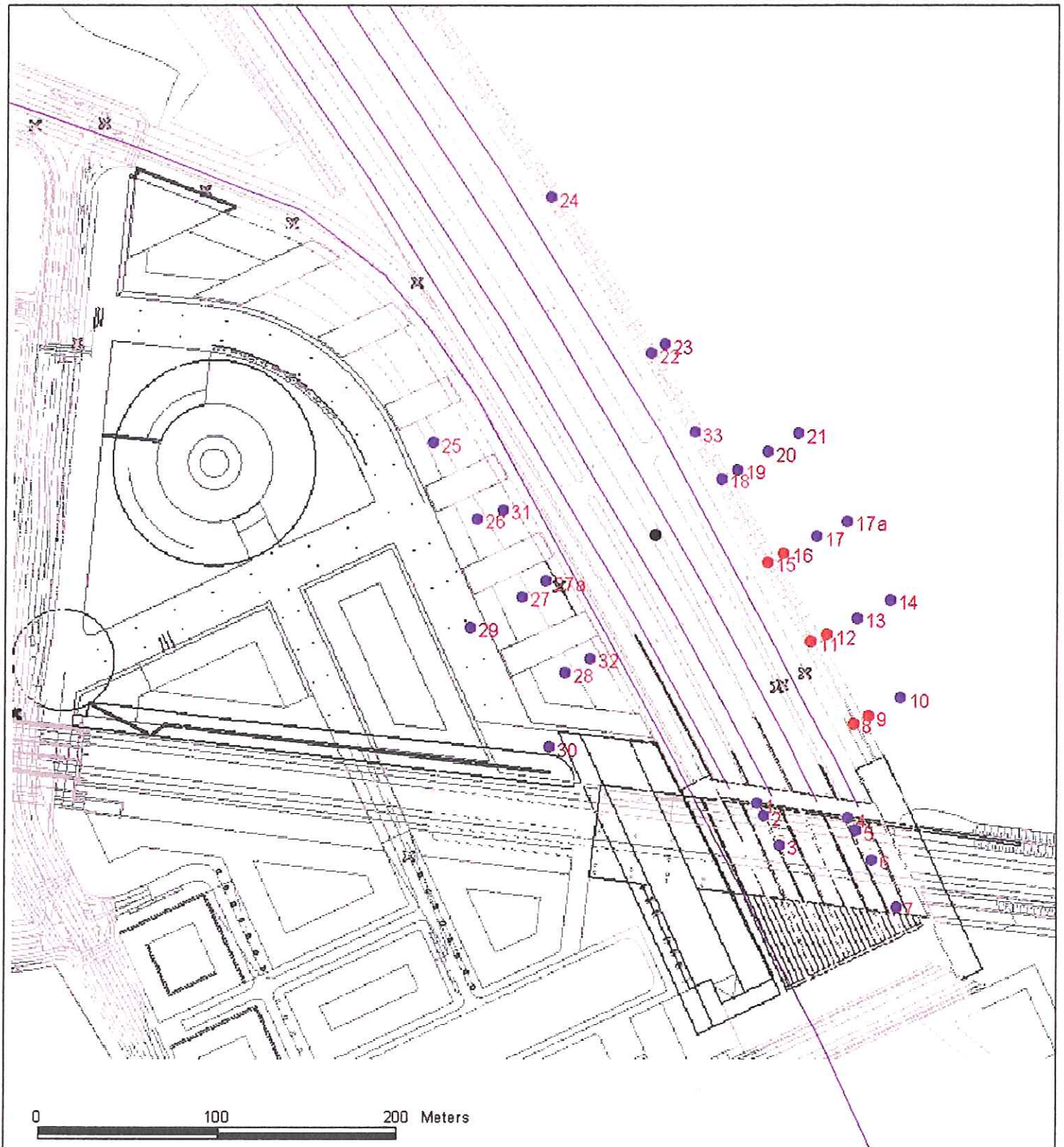
Aan de westkant is in de windtunnel de geprojecteerde bebouwing van Leidsche Rijn Centrum Noord met 6 m hoge parkeergarages aan de kant van de A2 en aan de zuidkant is het station en het geprojecteerde scherm op de tunnelmond mee gemodelleerd. Tevens is de 450 m lange Stadswegtunnel mee gemodelleerd.

Jaargemiddelde NO₂-concentraties in de basisconfiguratie 1

Uit de berekeningen blijkt dat de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties op de tunnelmond (meetpunten 1 t/m 7) in 2015 en 2020 niet wordt overschreden.

Uit de berekeningen blijkt verder dat de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 ter hoogte van de meetpunten 8, 9, 11, 12, 15 en 16 in 2015 wordt overschreden, zie eveneens figuur 4.1. De hoogste concentratie is gemeten ter hoogte van meetpunt 11 met een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 52,1 µg/m³.

In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 niet meer overschreden.



Figuur 4.1 Ligging van de meetpunten bij de Tunnelmond Noord met een overschrijding van de grenswaarde voor jaargemiddelde NO_2 -concentraties (rood) in de basisconfiguratie 1.

Door de reductie van de verkeersaantallen op de stadsweg aan de westkant van de A2, in vergelijking tot het voorgaande onderzoek, vinden er in 2015 en 2020 op geen van de

meetpunten overschrijdingen plaats van de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties.

Uurgemiddelde NO₂-concentraties in de basisconfiguratie 1

De indicatorwaarde voor uurgemiddelde NO₂-concentraties (200 µg/m³ uurgemiddelde concentratie, die niet meer dan 18 maal per jaar mag worden overschreden) wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in 2015 of 2020 niet overschreden.

Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties in de basisconfiguratie 1

Uit de berekeningen blijkt dat de voor zeezout gecorrigeerde grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties ter hoogte van de beschouwde meetpunten in 2015 en 2020 niet worden overschreden.

Etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties in de basisconfiguratie 1

Uit de berekeningen blijkt dat de voor zeezout gecorrigeerde indicatorwaarde voor etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties ter hoogte van de beschouwde meetpunten in 2015 en 2020 niet worden overschreden.

5 Resultaten voor NO₂- en PM₁₀-concentraties bij de verschillende schermvarianten

De door Rijkswaterstaat aangeleverde schermvarianten aan de oostzijde van de A2 (configuratie 3 t/m 7, respectievelijk RWS variant A t/m E) worden gegeven in de bijlagen 2 en 3. Daarnaast is er een variant op de basisconfiguratie 1 gemeten waarbij het scherm tussen parallelrijbanen en hoofdrijbanen verwijderd is en het scherm ten oosten van de A2 is blijven staan (basisconfiguratie 2).

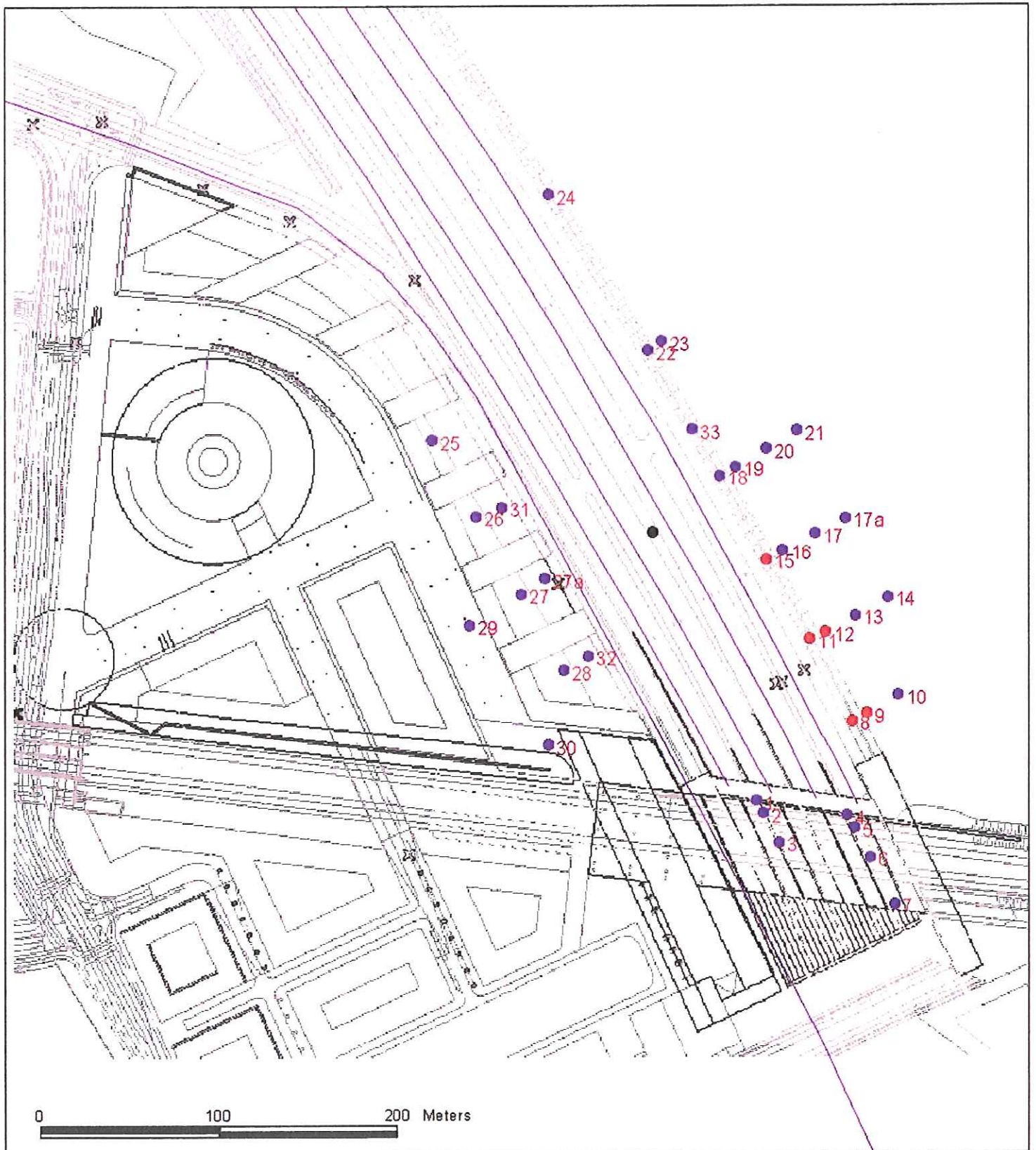
Aan de westkant is het effect van schermen op het dak van de parkeergarage onderzocht (configuratie 3 t/m 7; bijlage 2).

Jaargemiddelde NO₂-concentraties bij de verschillende schermvarianten

Uit de berekeningen blijkt dat de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties op de tunnelmond (meetpunten 1 t/m 7) in 2015 en 2020 niet wordt overschreden.

Uit de berekeningen blijkt verder dat de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in basisconfiguratie 2 ter hoogte van de meetpunten 8, 9, 11, 12 en 15 in 2015 wordt overschreden, zie figuur 5.1. De hoogste concentratie is gemeten ter hoogte van meetpunt 11 met een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 49,3 µg/m³.

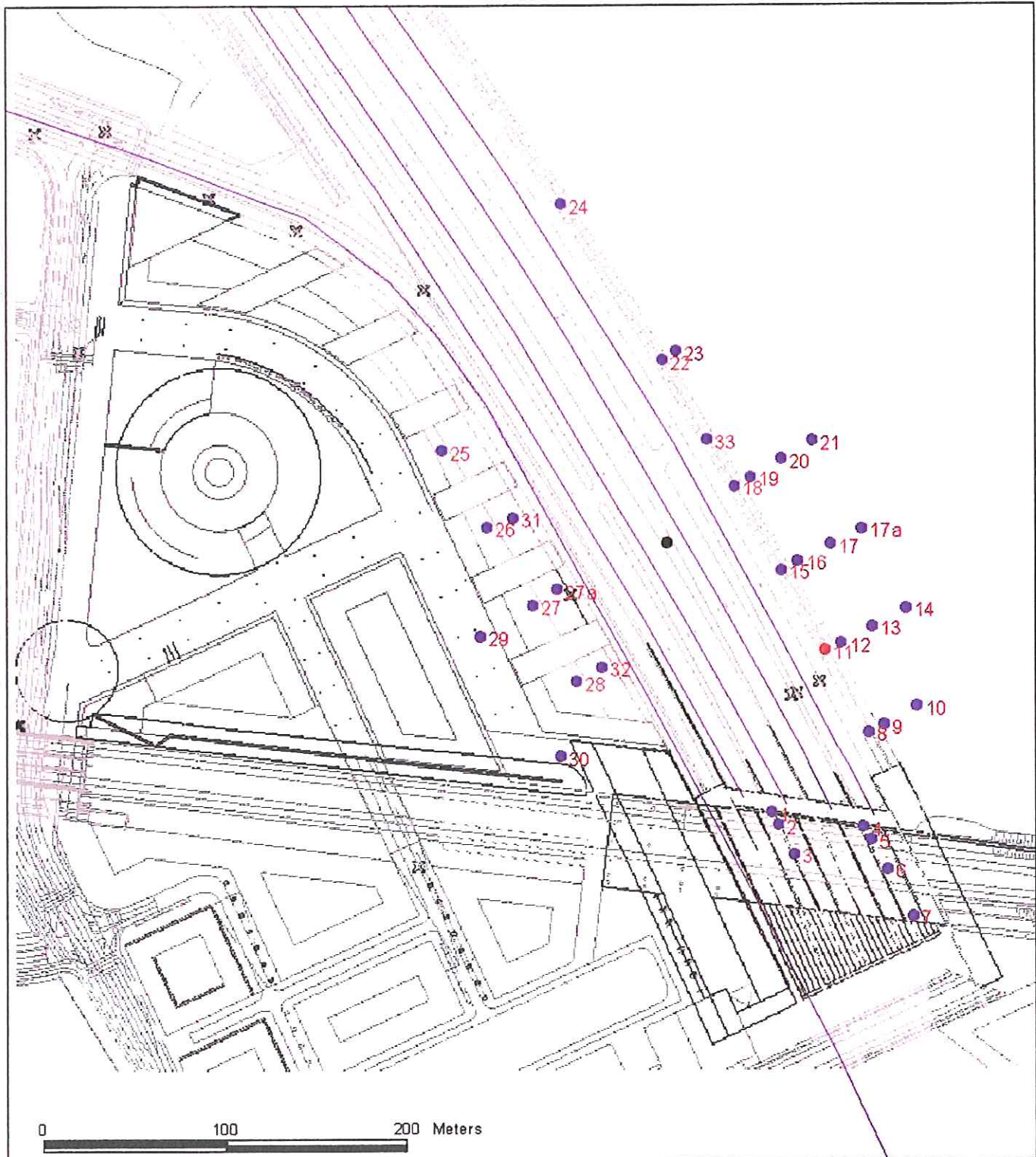
In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in configuratie 2 niet meer overschreden.



Figuur 5.1 Ligging meetpunten bij de Tunnelmond Noord met een overschrijding van de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties (rood) in basisconfiguratie 2.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 wordt in configuratie 3 ter hoogte van meetpunt 11 in 2015 overschreden en bedraagt 40,8 µg/m³, zie figuur 5.2.

In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in configuratie 3 niet meer overschreden.



Figuur 5.2 Ligging van de meetpunten bij de Tunnelmond Noord met een overschrijding van de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties (rood) in configuratie 3.

Aan de westzijde van de A2 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties in 2015 en 2020 ter hoogte van geen van de beschouwde meetpunten overschreden. Ook in de overige configuraties wordt op geen van de beschouwde meetpunten de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties in 2015 of in 2020 overschreden.

In geen van de overige beschouwde configuraties (configuratie 4 tot en met 7) wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in 2015 of in 2020 overschreden.

Uurgemiddelde NO₂-concentraties bij de verschillende schermvarianten

De indicatorwaarde voor uurgemiddelde NO₂-concentraties (200 µg/m³ uurgemiddelde concentratie, die niet meer dan 18 maal per jaar mag worden overschreden) wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in 2015 en in 2020 bij de verschillende schermvarianten niet overschreden.

Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties bij de verschillende schermvarianten

Uit de berekeningen blijkt dat de voor zeezout gecorrigeerde grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties ter hoogte van de beschouwde meetpunten in 2015 en in 2020 bij de verschillende schermvarianten niet wordt overschreden.

Etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties bij de verschillende schermvarianten

Uit de berekeningen blijkt dat de voor zeezout gecorrigeerde indicatorwaarde voor etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties ter hoogte van de beschouwde meetpunten in 2015 en in 2020 bij de verschillende schermvarianten niet wordt overschreden.

6 Onzekerheid in de resultaten

Bij de beoordeling van de resultaten dient rekening te worden gehouden met onzekerheden. De onzekerheid in het bepalen van de concentraties bij de A2-Leidsche Rijn tunnel wordt mede veroorzaakt door onzekerheden in de meet- of rekenmethode. Deze zijn beïnvloedbaar.

Door bij complexe stedenbouwkundige situaties te kiezen voor windtunnelmetingen, kunnen de onzekerheden die voor die situaties uit berekeningen met Pluim-snelweg volgen verkleind worden. In dit hoofdstuk zullen de onzekerheden bij de windtunnelmetingen kort worden toegelicht.

6.1 Onzekerheden in de toegepaste methode

6.1.1 *Windtunnelmetingen*

TNO heeft specifieke methoden ontwikkeld om voor verschillende wegconfiguraties de door het verkeer opgewekte turbulentie te modelleren. Recente studies (Wesseling, Zandveld, 2006) laten zien dat de met deze methodieken verkregen resultaten zowel in open veld als in complexe stedenbouwkundige situaties goed overeenstemmen met veldmetingen. De windtunnelmetingen zijn uitgevoerd voor windrichtingstappen van 30 graden. Bij kleinere windrichtingstappen worden de metingen nog wat nauwkeuriger.

Bij elke methode (windtunnel, rekenmodel, CFD etc.) zal er een koppeling gemaakt moeten worden van de windsnelheden op de beschouwde locatie naar de windsnelheden in het meteostation. Deze koppeling is in principe windrichtingafhankelijk en is ook per windrichting afhankelijk van de ruwheidsovergangen (zoals bijvoorbeeld weiland-stad) binnen een straal van 5 tot 10 km van de bouwplaats. Er kunnen hiervoor verschillende methoden gehanteerd worden. Bij de windtunnelmetingen is gebruik gemaakt van de methode die ook voor windhinderstudies wordt toegepast (Vermeulen/Hoofman, 1980). Uit (Visser, Cleijne, 1994) blijkt dat met deze methode een goede voorspelling van het windklimaat verkregen kan worden. Het is daarom te verwachten dat deze methode ook bij luchtkwaliteitstudies tot bevredigende resultaten zal leiden. De onzekerheid wordt geschat in de orde grootte van circa 10%.

6.1.2 *Opschaling*

In de windtunnel is bij de A2-LR tunnel een gebied met een diameter van circa 600 m gemodelleerd. Voor het in de windtunnel gemodelleerde gebied van 600 m wordt bij de verspreiding automatisch rekening gehouden met alle aanwezige en gemodelleerde gebouwen in de omgeving. De bijdragen van de weggedeelten buiten het in de windtunnel gemodelleerde gebied aan de receptorpunten op de draaischijf zijn door middel van berekeningen met Pluim-snelweg in rekening gebracht. Hierbij kan geen rekening gehouden worden met de specifieke bebouwing.

Hoewel deze concentratiebijdragen over het algemeen niet groot zijn, zijn onnauwkeurigheden in de rekenmethode toch niet geheel verwaarloosbaar. Gezien de ligging van de receptorpunten zal de onzekerheid hooguit enkele procenten bedragen.

6.1.3 *Omrekening van NO in NO₂*

Voor de omrekening van NO naar NO₂ is de methode uit Pluim-snelweg gebruikt. De methode berust op een semi-empirische formule die, afhankelijk van de windrichting, de NO₂-vorming door reactie van NO met achtergrond-ozon beschrijft. Hoewel deze formule eenvoudig is, is de nauwkeurigheid vrij groot, doordat de NO₂-vorming in de praktijk begrensd wordt door de beschikbare achtergrond-ozon. Daardoor is ook de relatieve invloed van de achtergrondconcentratie voor NO₂ beduidend groter dan voor NO_x, met als gevolg dat bij gegeven achtergrondconcentratie de onzekerheid in de totale NO_x-concentratie meestal groter is dan die voor NO₂.

Voor de omzetting wordt over het algemeen rekening gehouden met een onzekerheid van circa 15%. Dit geldt uiteraard zowel voor de windtunnelmetingen als voor berekeningen met Pluim-snelweg.

6.1.4 *Schatting van de onzekerheid*

Op grond van het bovenstaande wordt voor de onzekerheid in de lokale bijdrage tot de NO_x- en PM₁₀ concentratie een onzekerheid van de orde van grootte van 10% gevonden. De onzekerheid in de lokale bijdrage tot de NO₂ concentratie wordt in hoofdzaak bepaald door de onzekerheid in de omzetting van NO naar NO₂ en komt op circa 18% (de kwadratische som van 10% en 15%).

7 Conclusies

Jaargemiddelde NO₂-concentraties

Uit de berekeningen blijkt dat de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties op de tunnelmond (meetpunten 1 t/m 7) in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en 2020 niet wordt overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties wordt aan de westzijde van de A2 in geen van de beschouwde varianten (basisconfiguraties en de schermvarianten) in 2015 en 2020 overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties wordt aan de oostkant van de A2 in de basisconfiguratie 1 ter hoogte van de meetpunten 8, 9, 11, 12, 15 en 16 in 2015 overschreden. De hoogste concentratie is gemeten ter hoogte van meetpunt 11 met een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 52,1 µg/m³. In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in de basisconfiguratie niet meer overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties wordt aan de oostkant van de A2 in de basisconfiguratie 2 ter hoogte van de meetpunten 8, 9, 11, 12 en 15 in 2015 overschreden. De hoogste concentratie is gemeten ter hoogte van meetpunt 11 met een jaargemiddelde NO₂-concentratie van 49,3 µg/m³. In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in basisconfiguratie 2 niet meer overschreden.

De grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 wordt in configuratie 3 ter hoogte van meetpunt 11 in 2015 overschreden en bedraagt 40,8 µg/m³. In 2020 wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in configuratie 3 niet meer overschreden.

In geen van de overige beschouwde configuraties (configuratie 4 tot en met 7) wordt de grenswaarde voor jaargemiddelde NO₂-concentraties aan de oostkant van de A2 in 2015 of in 2020 overschreden.

Uurgemiddelde NO₂-concentraties

De indicatorwaarde voor uurgemiddelde NO₂-concentraties (200 µg/m³ uurgemiddelde concentratie, die niet meer dan 18 maal per jaar mag worden overschreden) wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en in 2020 niet overschreden.

Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties

De voor zeezout gecorrigeerde grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en in 2020 niet overschreden.

Etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties

De voor zeezout gecorrigeerde indicatorwaarde voor etmaalgemiddelde PM₁₀-concentraties wordt ter hoogte van de beschouwde meetpunten in de basisconfiguraties en de schermvarianten in 2015 en in 2020 niet overschreden.

8 Referenties

- MNP (2008) Velders et. Al.,
Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland;
Rapportage 2008; Rapport 500088002/2008, Milieu- en Natuurplanbureau
(MNP), Bilthoven.
- MNP (2009) Velders et al.,
Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland;
Rapportage 2008; Rapport 500088005/2009, Planbureau voor de leefomgeving
(PBL), Bilthoven.
- Visser G.Th.; Weststrate J.H.
Windtunnelonderzoek naar de NO₂- en fijn stof concentraties bij de tunnel-
monden van de A2 Leidsche Rijn tunnel bij Utrecht; TNO rapport
TNO-034-UT-2009-00562_RPT-ML; maart 2009.
- Staatscourant (215, 2006)
Meet- en rekenvoorschrift bevoegdheden luchtkwaliteit; Regeling van de
Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van
23 oktober 2006, nr. LMV2006.309882, houdende regels voor het meten en
berekenen van de gevolgen voor de luchtkwaliteit, bedoeld in artikel 7 van het
Besluit Luchtkwaliteit 2005 (Meet- en rekenvoorschrift bevoegd-heden lucht-
kwaliteit).
- Vermeulen, P.E.J.; Hooftman, P (1980)
Methode ter bepaling van het verband tussen de windsnelheid bij een ge-bouw
en de lokale windsnelheden zoals gemeten bij een maquette in de windtunnel.
MT-TNO rapport 80-02760, 1980.
- Staatsblad (414, 2007)
Wet van 11 oktober 2007 tot wijziging van de Wet milieubeheer (lucht-
kwaliteitseisen).
- Staatsblad (434, 2007)
Besluit van 30 oktober 2007, houdende vaststelling van het tijdstip van in-
werkingtreding van de wet van 11 oktober 2007 tot wijziging van de Wet
milieubeheer (luchtkwaliteitseisen).
- Staatscourant (220, 2007)
Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007; Regeling van de Minister van
Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van 8 november
2007, nr. LMV2007.109578, houdende regels met betrekking tot het
beoordelen van de luchtkwaliteit (Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007).
- Wesseling.J.P; Zandveld, P.Y.J.(2006)
Bijlagen bij de luchtkwaliteitsberekeningen in het kader van de
ZSM/Spoodwet. TNO rapport R2006, november 2006.
- Visser, G.Th.; Cleijne, J.W. (1994)
Wind comfort predictions by wind tunnel tests: comparison with full-scale
data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 52 (1994)
385-402.

9 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Gemeente Utrecht
Projectbureau Leidsche Rijn
Postbus 8613
3503 RP Utrecht
t.a.v. de heer P. van der Meer

Namen en functies van de projectmedewerkers:

W.W.R. Koch projectleider
J.H. Weststrate projectmedewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

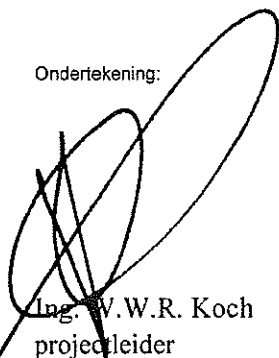
april – juli 2009

Naam en paraaf tweede lezer:



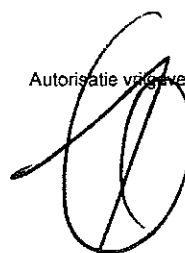
Drs. S.W. van Ratingen

Ondertekening:



Ing. W.W.R. Koch
projectleider

Autorisatie vrijgave:



G.A. J.H. Duijter

Dr. M.P. Keuken
hoofd Luchtkwaliteit en Klimaat

1 Aangeleverde verkeersintensiteiten

Tabel 1.1 Verkeersintensiteiten t.b.v. Leidsche Rijn in 2015.

Wegvaknr. milieu		Motorvoertuigen	vrachtverkeer	Mizwa vracht	Zwaar vracht
n.v.t.	Verkeer Stadsbaan zuidelijke rijrichting	6.730	337	269	67
n.v.t.	Verkeer Stadsbaan noordelijke rijrichting	7.540	377	302	75
18	verkeer parallelrijbaan zuidelijke rijrichting	27.270	3.443	1.148	2.295
14	verkeer hoofdrijbaan zuidelijke rijrichting	57.610	11.092	3.697	7.395
19	verkeer parallelrijbaan noordelijke rijrichting	28.090	4.190	1.397	2.793
15	verkeer hoofdrijbaan noordelijke rijrichting	58.880	12.182	4.061	8.121

Tabel 1.2 Verkeersintensiteiten t.b.v. Leidsche Rijn in 2020.

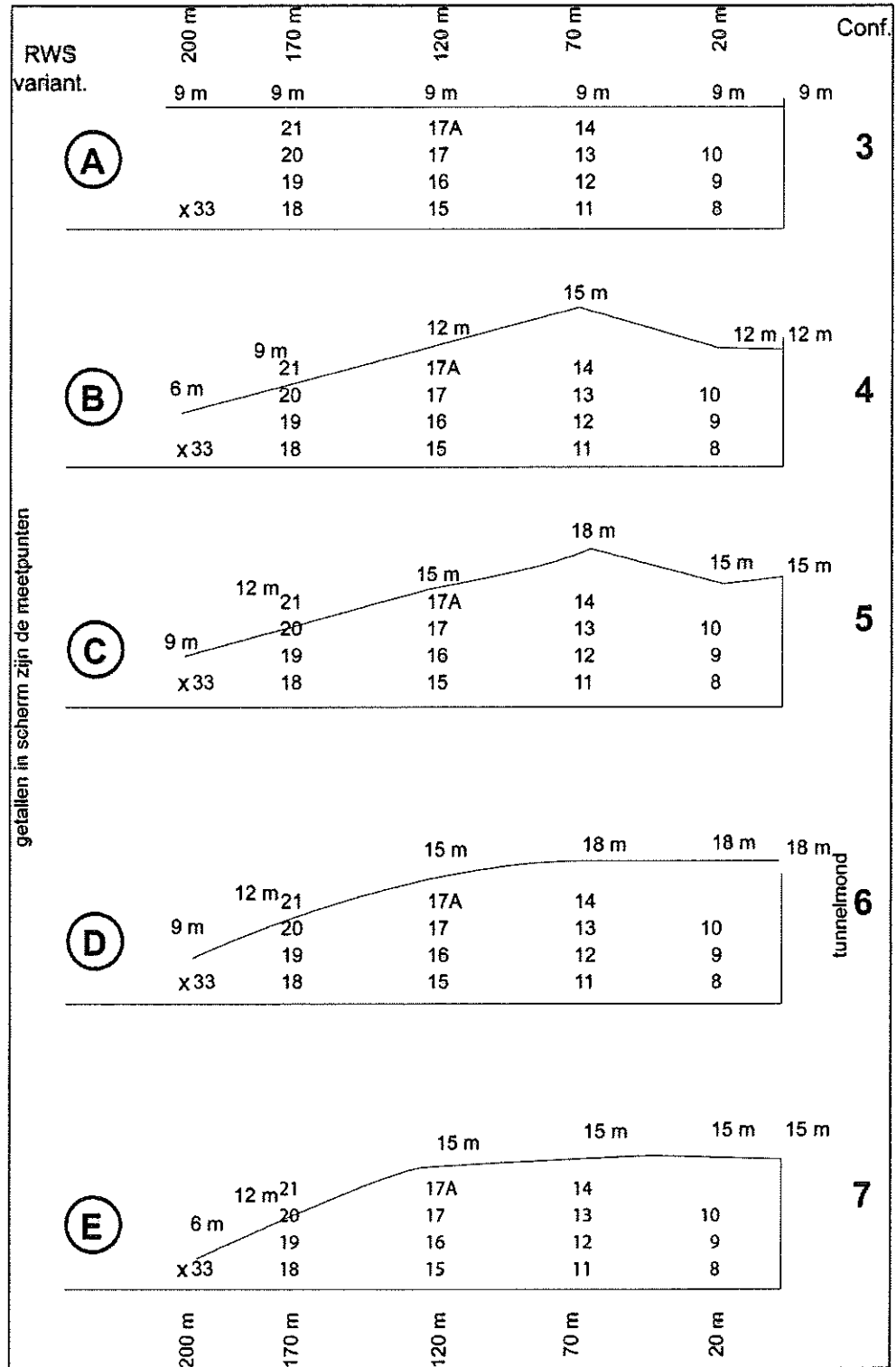
Wegvaknr. milieu		Motorvoertuigen	vrachtverkeer	Mizwa vracht	Zwaar vracht
n.v.t.	Verkeer Stadsbaan zuidelijke rijrichting	11.120	556	445	111
n.v.t.	Verkeer Stadsbaan noordelijke rijrichting	11.820	591	473	118
18	verkeer parallelrijbaan zuidelijke rijrichting	29.700	3.604	1.201	2.403
14	verkeer hoofdrijbaan zuidelijke rijrichting	62.210	12.485	4.162	8.323
19	verkeer parallelrijbaan noordelijke rijrichting	30.470	4.286	1.429	2.858
15	verkeer hoofdrijbaan noordelijke rijrichting	63.450	13.776	4.592	9.184

De door de gemeente Utrecht aangeleverde cijfers zijn op dezelfde wijze bewerkt, als in het voorgaande onderzoek (Visser, Weststrate, 2009), om tot geschikte invoergegevens te komen voor de berekeningen.

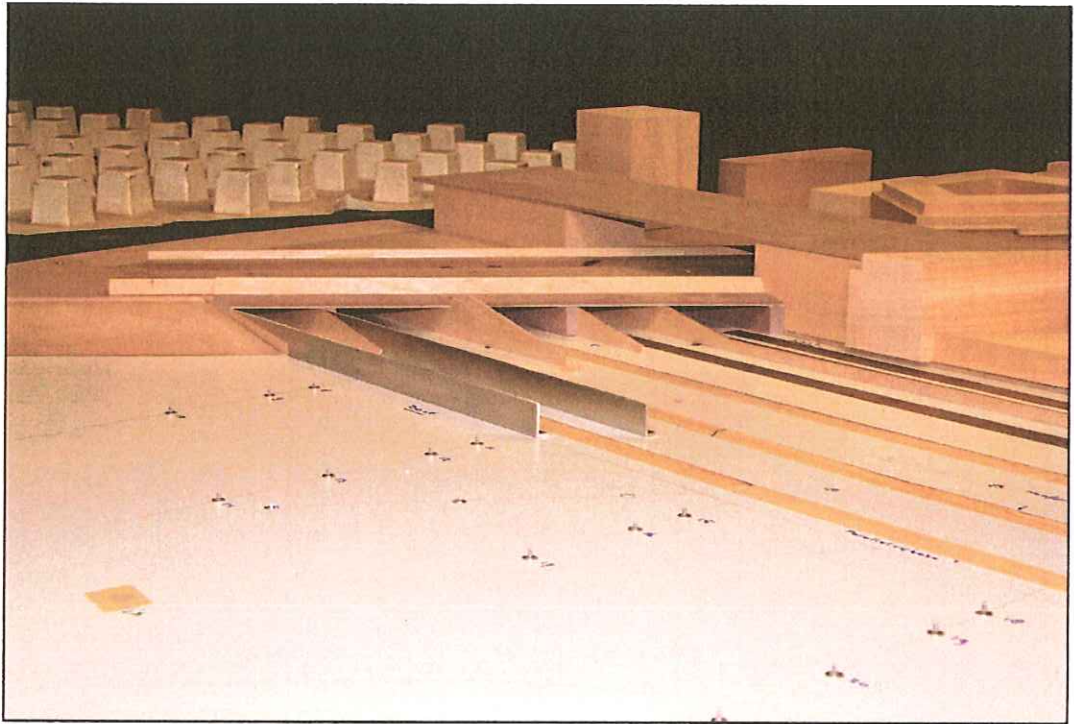
Zo zijn voor de stadsweg en de hoofd- en de parallelrijbanen de betreffende zuidelijke en noordelijke rijrichtingen opgeteld. Tevens zijn voor de tunnelmond intensiteiten de halve intensiteiten berekend van de betreffende rijbanen (aangezien de emissies in de tunnel verdeeld worden over beide tunnelmonden).

Door deze bewerkingen kunnen de totalen iets afwijken ten gevolge van afrondingen.

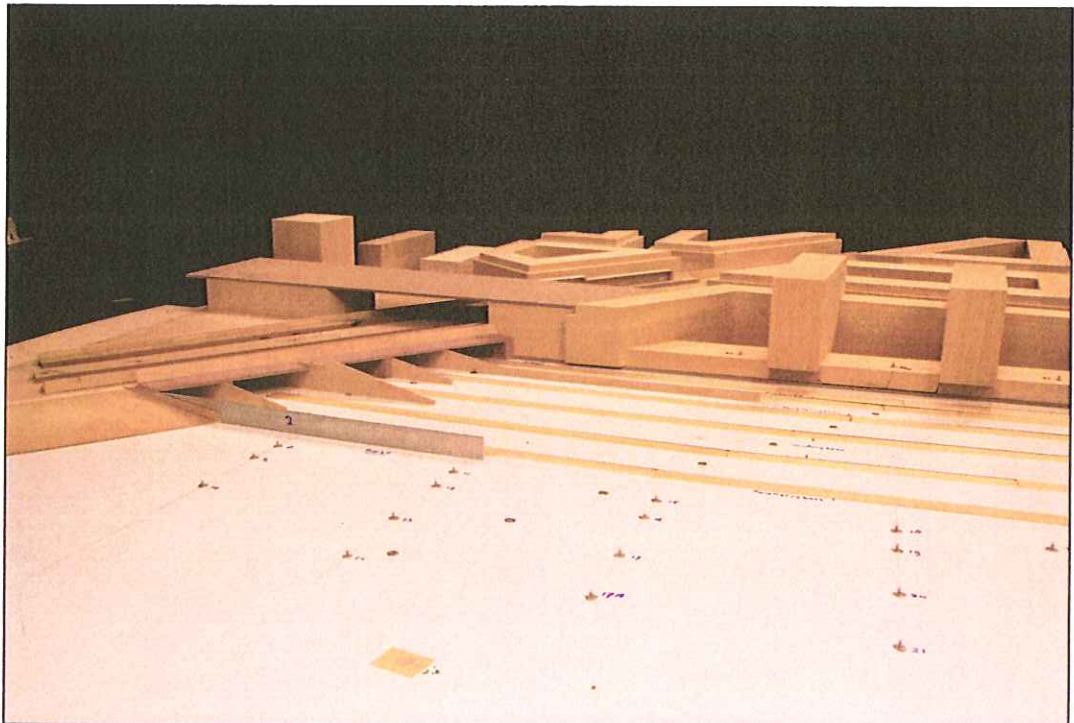
2 RWS schermvarianten voor Tunnelmond Noord



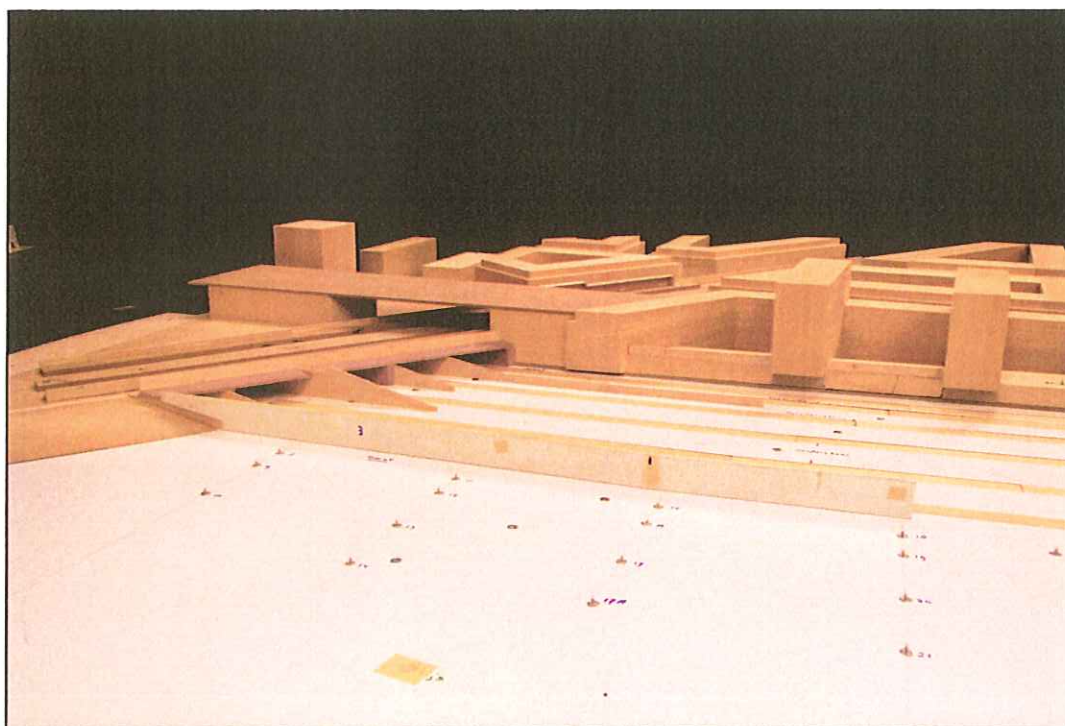
3 Windtunnelconfiguraties



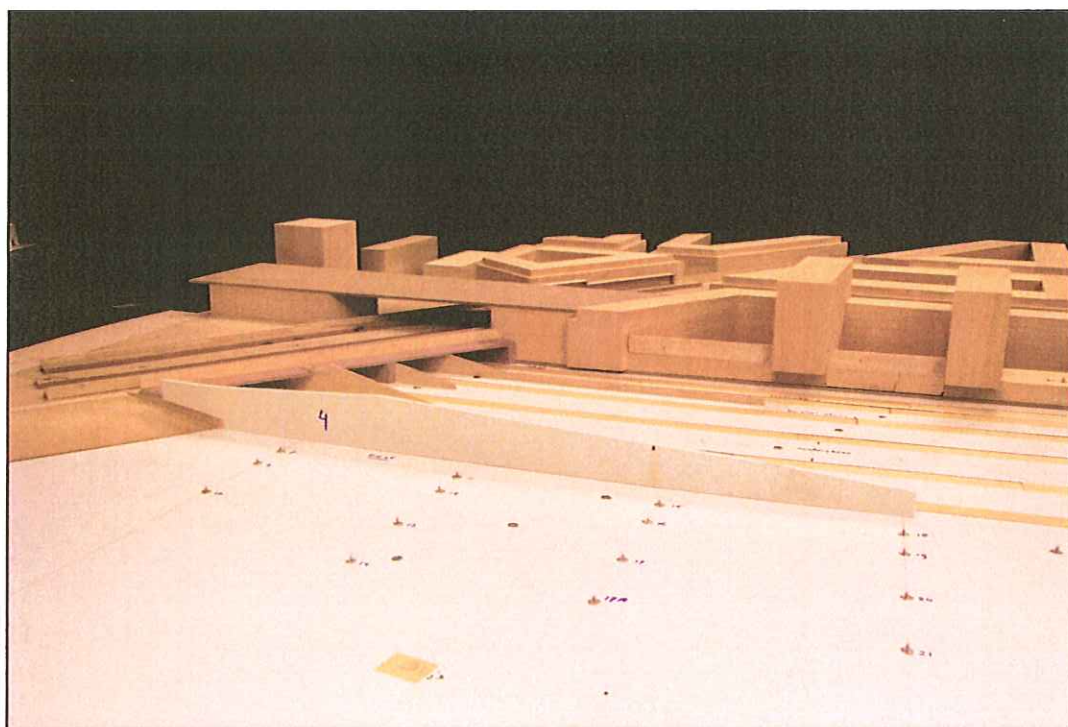
Figuur 3.1 Tunnelmond Noord: basisconfiguratie 1.



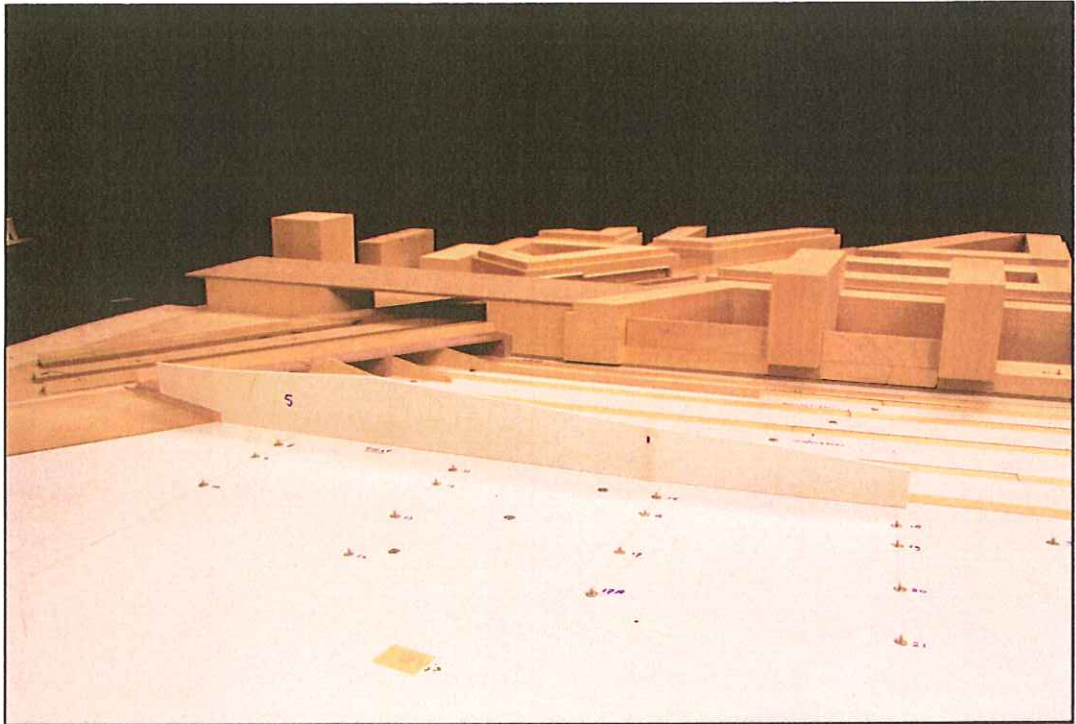
Figuur 3.2 Tunnelmond Noord: Basisconfiguratie 2.



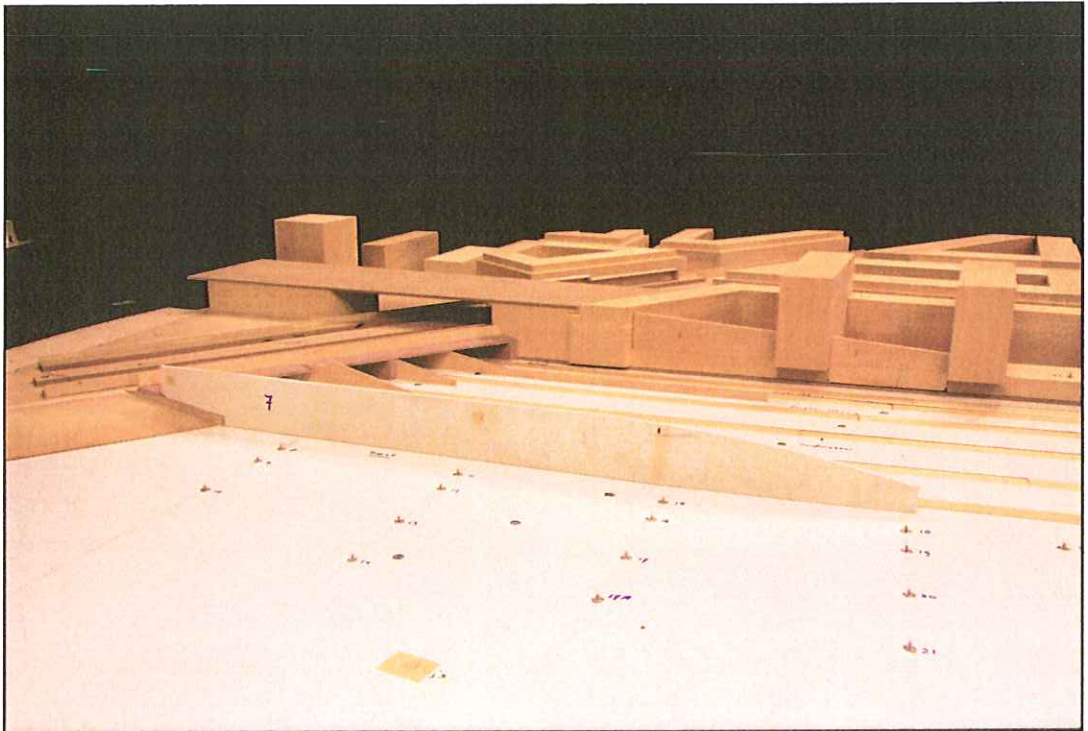
Figuur 3.3 Tunnelmond Noord: configuratie 3 (RWS variant A).



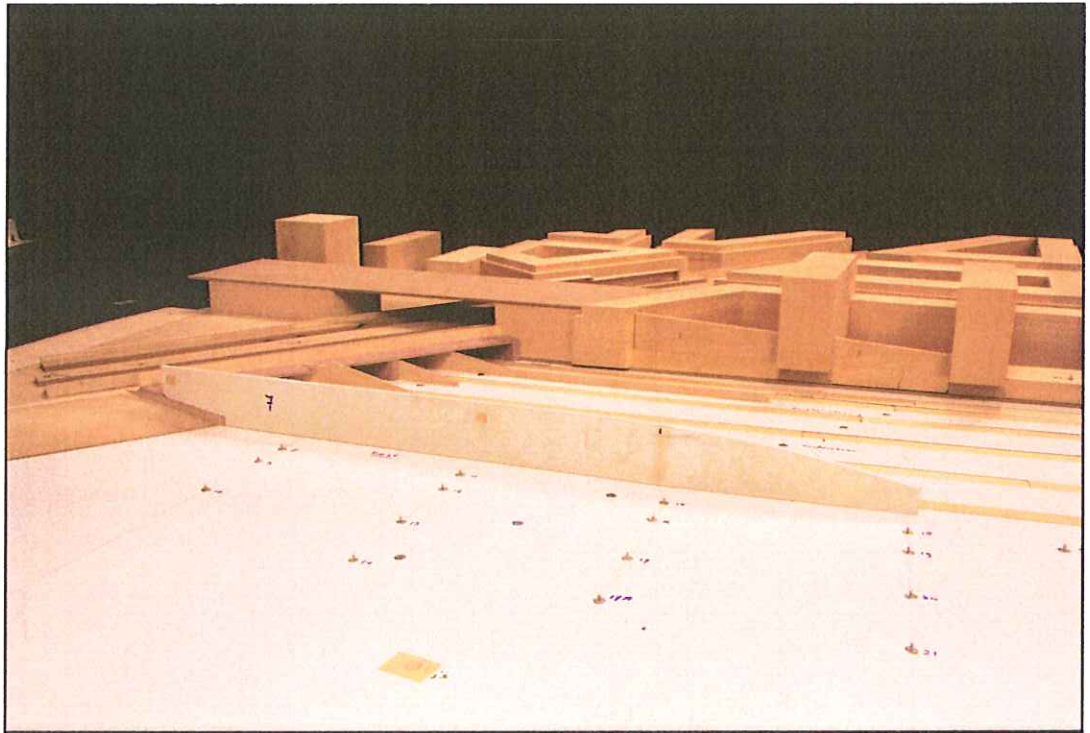
Figuur 3.4 Tunnelmond Noord: configuratie 4 (RWS variant B).



Figuur 3.5 Tunnelmond Noord: configuratie 5 (RWS variant C).



Figuur 3.6 Tunnelmond Noord: configuratie 6 (RWS variant D).



Figuur 3.7 Tunnelmond Noord: configuratie 7 (RWS variant E).

4 Resultaten Tunnelmond Noord basisconfiguratie 1

Tabel 4.1 Jaargemiddelde NO₂-concentraties (µg/m³) in 2015 en 2020 volgens het BGE-scenario van april 2009.

Meetpunt nummer	Afstand tot scherm	Afstand tot tunnelmond	2015	2020
1	10	10	31,8	26,5
2	17	17	30,8	25,4
3	35	35	29,4	24,2
4	10	10	35,2	28,6
5	17	17	35,3	28,6
6	35	35	31,9	26,0
7	65	65	27,1	22,3
8	10	20	44,5	35,3
9	20	20	43,7	34,7
10	40	20	36,4	29,1
11	10	70	52,1	41,1
12	20	70	47,4	37,7
13	40	70	40,0	32,0
14	60	70	35,0	28,2
15	10	120	46,5	36,9
16	20	120	42,6	34,0
17	40	120	37,7	30,4
18	10	170	39,2	31,5
19	20	170	36,4	29,4
20	40	170	34,4	27,8
21	60	170	32,0	26,0
22	10	250	34,1	27,5
23	20	250	31,2	25,3
24	10	350	34,5	27,7
25	25	270	29,4	24,6
26	25	220	29,5	24,5
27	26	170	29,9	24,8
28	25	120	33,8	28,0
29	56	170	24,6	20,4
30	50	80	26,7	22,1
31	10	220	31,6	26,3
32	10	120	34,6	28,7

Tabel 4.2 Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties (µg/m³) volgens het BGE-scenario van april 2009.

Meetpunt nummer	Afstand tot scherm	Afstand tot tunnelmond	2015	2020
1	10	10	25,4	24,0
2	17	17	25,3	23,8
3	35	35	25,0	23,5
4	10	10	26,4	24,7
5	17	17	26,5	24,8
6	35	35	25,6	24,0
7	65	65	24,5	22,9
8	10	20	28,3	26,3
9	20	20	28,2	26,2
10	40	20	26,3	24,5
11	10	70	30,8	28,6
12	20	70	29,4	27,3
13	40	70	27,3	25,5
14	60	70	26,1	24,3
15	10	120	29,4	27,4
16	20	120	28,3	26,3
17	40	120	26,9	25,1
18	10	170	27,1	25,3
19	20	170	26,5	24,8
20	40	170	26,2	24,5
21	60	170	25,7	24,0
22	10	250	26,1	24,3
23	20	250	25,4	23,7
24	10	350	26,1	24,3
25	25	270	25,0	23,6
26	25	220	25,1	23,6
27	26	170	25,2	23,7
28	25	120	25,9	24,4
29	56	170	24,2	22,7
30	50	80	24,7	23,1
31	10	220	25,5	24,0
32	10	120	26,1	24,7

^{*)} Concentraties zijn niet zelf gecorrigeerd voor zeezout, ten gevolge van de zeezoutcorrectie bedraagt de grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties 45 µg/m³ (40 µg/m³ + 5 µg/m³), zie ook hoofdstuk 3.

5 Resultaten Tunnelmond Noord met schermvarianten.

Tabel 5.1 Jaargemiddelde NO₂-concentraties (µg/m³) in 2015 volgens het BGE-scenario van april 2009.

Meetpunt nummer	Afstand tot scherm	Afstand tot tunnelmond	Configuratie						
			2	3	4	5	6	7	
8	10	20	45,0	37,5	31,3	28,5	27,6	28,8	
9	20	20	42,4	37,8	32,9	29,5	28,6	29,8	
10	40	20	35,0	32,0	29,5	28,0	27,6	28,2	
11	10	70	49,3	40,8	34,4	31,0	29,6	31,5	
12	20	70	45,7	39,9	33,7	30,5	29,6	31,4	
13	40	70	39,2	36,2	33,0	30,3	29,8	31,2	
14	60	70	33,5	32,1	30,2	28,6	28,0	29,0	
15	10	120	44,0	39,4	34,4	31,5	30,9	32,0	
16	20	120	40,5	37,7	33,5	30,9	30,0	31,6	
17	40	120	37,4	35,6	33,2	31,0	30,3	31,7	
17A	60	120	34,5	33,1	30,8	29,7	29,1	29,9	
18	10	170	38,7	37,6	35,0	34,0	33,8	34,3	
19	20	170	35,7	35,1	33,0	32,4	31,9	32,6	
27A	-10	170	36,2	36,0	35,5	35,2	35,2	34,9	
28	-25	120	31,8	28,8	27,1	25,7	24,6	26,8	
31	-10	220	34,4	32,2	31,3	29,1	26,9	27,6	
32	-10	120	31,2	31,4	32,0	33,4	33,5	33,1	
33	10	200	34,8	32,5	31,4	29,2	27,8	28,3	

Tabel 5.2 Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties (µg/m³) in 2015 volgens het BGE-scenario van april 2009.

Meetpunt nummer	Afstand tot scherm	Afstand tot tunnelmond	Configuratie					
			2	3	4	5	6	7
8	10	20	28,5	26,5	25,1	24,6	24,4	24,6
9	20	20	27,8	26,6	25,5	24,8	24,6	24,8
10	40	20	26,0	25,3	24,8	24,5	24,4	24,5
11	10	70	29,9	27,6	25,8	25,1	24,8	25,2
12	20	70	29,0	27,4	25,7	25,0	24,8	25,2
13	40	70	27,1	26,4	25,5	24,9	24,8	25,1
14	60	70	25,8	25,4	24,9	24,6	24,5	24,7
15	10	120	28,6	27,3	25,8	25,2	25,0	25,3
16	20	120	27,6	26,9	25,7	25,1	24,9	25,2
17	40	120	26,8	26,3	25,6	25,1	25,0	25,3
17A	60	120	26,1	25,7	25,1	24,8	24,7	24,9
18	10	170	27,0	26,7	25,9	25,6	25,6	25,7
19	20	170	26,3	26,2	25,5	25,3	25,2	25,4
27A	-10	170	26,6	26,6	26,4	26,3	26,3	26,2
28	-25	120	25,6	25,0	24,7	24,5	24,3	24,6
31	-10	220	26,0	25,6	25,4	25,0	24,7	24,8
32	-10	120	25,5	25,5	25,6	25,9	25,9	25,8
33	10	200	26,0	25,5	25,3	24,9	24,7	24,7

¹⁾ Concentraties zijn niet zelf gecorrigeerd voor zeezout, ten gevolge van de zeezoutcorrectie bedraagt de grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties 45 µg/m³ (40 µg/m³ + 5 µg/m³), zie ook hoofdstuk 3.

Tabel 5.3 Jaargemiddelde NO₂-concentraties (µg/m³) in 2020 volgens het BGE-scenario van april 2009.

Meetpunt nummer	Afstand tot scherm	Afstand tot tunnelmond	Configuratie					
			2	3	4	5	6	7
8	10	20	35,6	29,9	25,3	23,2	22,5	23,4
9	20	20	33,7	30,2	26,5	23,9	23,2	24,1
10	40	20	28,1	25,8	23,9	22,8	22,6	23,0
11	10	70	39,1	32,6	27,7	25,1	24,1	25,5
12	20	70	36,4	32,0	27,2	24,7	24,0	25,4
13	40	70	31,4	29,2	26,7	24,6	24,2	25,3
14	60	70	27,1	26,0	24,5	23,3	22,8	23,6
15	10	120	35,2	31,6	27,7	25,5	25,0	25,9
16	20	120	32,5	30,3	27,0	25,0	24,4	25,6
17	40	120	30,1	28,7	26,8	25,1	24,6	25,7
17A	60	120	27,9	26,8	25,0	24,1	23,7	24,3
18	10	170	31,1	30,2	28,2	27,3	27,2	27,6
19	20	170	28,9	28,3	26,7	26,2	25,8	26,4
27A	-10	170	29,1	28,9	28,6	28,3	28,3	28,1
28	-25	120	26,4	23,9	22,4	21,3	20,4	22,1
31	-10	220	28,3	26,5	25,7	23,8	22,1	22,7
32	-10	120	26,1	26,3	26,7	27,9	27,9	27,6
33	10	200	28,8	26,9	25,8	24,0	22,9	23,3

Tabel 5.4 Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 2020 volgens het BGE-scenario van april 2009.

Meetpunt nummer	Afstand tot scherm	Afstand tot tunnelmond	Configuratie						
			2	3	4	5	6	7	
8	10	20	26,5	24,7	23,5	23,0	22,8	23,0	
9	20	20	25,9	24,8	23,8	23,2	23,0	23,2	
10	40	20	24,3	23,6	23,2	22,9	22,9	22,9	
11	10	70	27,8	25,7	24,1	23,4	23,2	23,5	
12	20	70	26,9	25,6	24,0	23,3	23,2	23,5	
13	40	70	25,3	24,7	23,9	23,3	23,2	23,5	
14	60	70	24,1	23,8	23,3	23,0	22,9	23,1	
15	10	120	26,7	25,4	24,1	23,5	23,4	23,6	
16	20	120	25,8	25,1	24,0	23,4	23,3	23,6	
17	40	120	25,0	24,6	23,9	23,5	23,3	23,6	
17A	60	120	24,3	24,0	23,5	23,2	23,1	23,3	
18	10	170	25,2	24,9	24,2	24,0	23,9	24,0	
19	20	170	24,5	24,4	23,9	23,7	23,6	23,7	
27A	-10	170	24,9	24,8	24,7	24,6	24,6	24,5	
28	-25	120	24,1	23,5	23,2	22,9	22,7	23,1	
31	-10	220	24,5	24,0	23,8	23,4	23,1	23,2	
32	-10	120	24,0	24,1	24,1	24,4	24,4	24,3	
33	10	200	24,5	24,0	23,7	23,3	23,1	23,2	

¹⁾ Concentraties zijn niet zelf gecorrigeerd voor zeezout, ten gevolge van de zeezoutcorrectie bedraagt de grenswaarde voor jaargemiddelde PM₁₀-concentraties $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3 + 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), zie ook hoofdstuk 3.